

Antti Haaranieni

MIEHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUSJÄRJESTELMÄN TUOTAN- NON KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö

CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Helmikuu 2018

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Helmikuu 2018	Tekijä/tekijät Antti Haaranieniemi
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi MIEHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUSJÄRJESTELMÄN TUOTANNON KEHITTÄMINEN		
Työn ohjaaja Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Sivumäärä 35
Työelämäohjaaja Joona Pohjonen		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle Pohjonen Group Ltd. Työn tarkoituksena oli laatia toimiva tuotanto miehittämättömien ilma-aluksien ja niihin liittyvien järjestelmien valmistamista varten. Työssä keskityttiin pääasiassa yhden miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän tuotannon kehittämiseen. Työn teoriaosuudessa perehdyttiin miehittämättömiin ilma-aluksiin ja järjestelmiin, sekä Lean-tuotantostrategiaan ja layout-suunnitteluun.</p> <p>Lähtötilanteessa aikaisempaa tuotantoa ei ollut. Tuotantosuunnitelmassa päädyttiin käyttämään hyväksi Lean-tuotantostrategian JIT-periaatetta (JIT,) sekä sen menetelmiä 5S ja kanban. Näiden pohjalta suunniteltiin yritykselle sopiva tuotantojärjestelmä. Tuotantosuunnitelman päätavoitteet olivat: sujuva, virtaava tuotanto, varastointi, layout sekä siisteys ja järjestys.</p>		

Asiasanat layout, lean, miehittämätön ilma-alus, tuotannon kehittäminen, UAS, UAV

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date February 2018	Author Antti Haaranieni
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis Developing the production of an unmanned aerial system		
Instructor Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Pages 35
Supervisor Joona Pohjonen		
<p>This thesis was made for Pohjonen Group Ltd. The purpose of the work was to establish a working production of unmanned aerial vehicles and related systems. The thesis focused mainly on the development of one unmanned aerial vehicle system. The theoretical part of the thesis was focused to unmanned aircrafts and systems, Lean production strategy and layout design.</p> <p>At the beginning there was no existing production. As for the production plan, it was decided that the principle of the Lean production strategy JIT as well as its methods 5S and Kanban are used. Based on these, a production system suitable for the company was designed. The main goals of the production plan were: smooth and virtuous production, storage, layout, cleanliness and organization.</p>		

Key words

kanban, layout, lean, production development, UAS, UAV, unmanned air vehicle

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

UCA145	Unmanned Cargo Aircraft 145 on Pohjonen Group Ltd:n valmistama miehittämätön rah-tialus.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle eli miehittämätön ilma-alus.
HALE	High Altitude and Long Endurance eli suurissa korkeuksissa, pitkään lentävä (ajallisesti) miehittämätön ilma-alus (>10km korkeus ja >24h operointiaika).
MALE	Medium Altitude and Long Endurance eli miehittämätön ilma-alus, joka lentää hieman matalammalla kuin HALE, mutta operointiaika on sama (3-10km lentokorkeus ja 24-48h operointiaika).
UAS	Unmanned Aerial Systems eli miehittämätön ilma-alusjärjestelmä.
P2P	point-to-point eli pisteestä pisteeseen.
LTE	Long Term Evolution, toisin sanoen 4G-verkko
Telemetry	laitetiedot.
IP	Internet Protocol.
VTOL	Vertical Take-Off and Landing eli pystysuoraan nouseminen ja laskeutuminen.
GPS	Global Positioning System.
VLOS	Visual Line Of Sight eli visuaalinen näköyhteys.
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight eli visuaalisen näköyhteyden ulkopuolella.
TPS	Toyota Production System eli Toyotan tuotantojärjestelmä.
JIT	Just-in-time eli suomeksi käytetään lyhennettä JOT, joka tarkoittaa juuri oikeaan tarpee-seen.
5S	Seiri (lajittelu), Seiton (järjestys), Seiso (siivous), Seiketsu (standardointi) ja Shitsuke (seu-ranta).
EMCI	Electro Mechanical Connection Interface eli Pohjonen Group Ltd:n suunnittelema sähkö-mekaaninen liitin.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
1.1 Yritysesittely	4
2 MIEHITTÄMÄTÖN ILMA-ALUSJÄRJESTELMÄ	6
2.1 Tiedonsiirto	7
2.1.1 P2P-tiedonsiirto	8
2.1.2 3G- ja LTE-tiedonsiirto	8
2.2 Miehitettävät ilma-alustyypit	9
2.2.1 Pyöriväsiipiset	9
2.2.2 Kiinteäsiipiset	10
2.3 Lainsäädäntö	12
3 TUOTANNON LAYOUT	15
3.1 Funktionaalinen layout	16
3.2 Tuotantolinja	17
3.3 Solulayout	18
4 LEAN-TUOTANTOJÄRJESTELMÄ	20
4.1 Tehokkuusmatriisi	20
4.2 Lean	22
4.3 JIT-tuotanto	25
4.3.1 Imuohjaus	25
4.3.2 Kanban	26
4.3.3 5S menetelmä	27
5 TUOTANNON KEHITTÄMINEN	28
5.1 Nykytilan kartoitus	28
5.2 Tuotanto ja materiaalivirta	29
5.3 Tuotannon layout	31
5.4 Varasto	32
5.5 Siisteys ja järjestys	33
6 YHTEENVETO JA OMA POHDINTA	34
LÄHTEET	35
 KUVAT	
KUVA 1. UAV-luokittelu	6
KUVA 2. Miehitettävän ilma-alusjärjestelmä	7
KUVA 3. Point-to-point-tiedonsiirto.	8
KUVA 4. LTE-tiedonsiirto.	9
KUVA 5. General Atomics MQ-1C Gray Eagle kiinteäsiipinen MALE UAV	11
KUVA 6. Miehitetty VTOL-lentokone	12
KUVA 7. Funktionaalinen layout	16
KUVA 8. Tuotantolinja	17

KUVA 9. Solulayout.....	18
KUVA 10. Tehokkuusmatriisi.	21
KUVA 11. Leanin keinot.	23
KUVA 12. Staattinen ja dynaaminen tavoite.	24
KUVA 13. Yksinkertaistettu tuotantoprosessi imuohjauksessa.	25
KUVA 14. Kanban-korttien kierto tuotannossa.	27
KUVA 15. Korento C10	28
KUVA 16. Kokoonpanovaiheet.....	29
KUVA 17. Paletti 1	30
KUVA 18. Paletti 2.....	30
KUVA 19. Paletti 3.....	31
KUVA 20. Tuotannon layout.....	32

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana oli Pohjonen Group Ltd, joka on miehittämättömiä ilma-aluksia valmistava startup-yritys. Opinnäytetyön aiheena on miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän tuotannon kehittäminen liittyen Korento C10-ilma-alusjärjestelmän tuottamiseen. Lähtötilanteessa yrityksellä ei ollut juuri minkäänlaista tuotantoa, joten työ ja suunnittelu aloitettiin ns. puhtaalta pöydältä. Tavoitteena on saada yritykselle toimiva tuotanto, joka tuottaa miehittämättömiä ilma-aluksia ja niihin liittyviä järjestelmiä. Tuotannon tulisi olla mahdollisimman joustava ja virtaustehokas siten, että hukka ja välivarastot olisivat mahdollisimman pienet. Tätä ryhdyttiin kehittämään siten, että tuotannon perustana käytettiin lean-tuotantostrategiaa, sen periaatteita ja menetelmiä. Tuotannon suunnittelussa keskityttiin myös layoutin suunnitteluun.

Opinnäytetyö oli kaikin puolin haastava, sillä sen aihealue on erittäin laaja. Lisäksi toimiala on kohtuullisen uusi, eikä etenkin Suomessa löydy vastaavaa yritystä, jota pystyisi käyttämään referenssinä tuotannon suunnittelussa.

Työssäni olen käyttänyt paljon eri lähteitä. Merkittävimpiä lähteitä, joita käytettiin lean-tuotannonohjauksen tutkimiseen ovat: teokset Tätä on lean – ratkaisu tehokkuusparadoksiin, Lean taskukirja sekä Japanilainen tuotantoajattelu. Layout-suunnittelun tutkimiseen käytin Haverilan, Uusi-Rauvan, Kourin ja Miettisen yhdessä kirjoittamaa kirjaa Teollisuustalous. Miehittämättömien ilma-aluksien tutkimisen lähteinä käytin VTT:n, Trafín ja Lentopostin nettiartikkeleita ja julkaisuja, Mikko Kumpulan opinnäytetyötä ”UAV-lennokin hyödynnettävyys ilmakuvakartan teossa” sekä omaa tietämystäni ja kokemustani.

1.1 Yritysesittely

Pohjonen Group Ltd on startup-yritys, joka on perustettu vuonna 2013 ja se sijaitsee Keski-Suomessa, Karstulan kunnassa. Pohjonen Group Ltd on miehittämättömien ilma-aluksien ja niihin liittyvien järjestelmien valmistaja. Yritys valmistaa sekä pyöriväsiipisiä että kiinteäsiipisiä miehittämättömiä ilma-aluksia sekä erilaisia tukijärjestelmiä ja kuormia miehittämättömille ilma-aluksille. Yritys tekee myös sivutyönä automatiikkaa ja robotiikkaa.

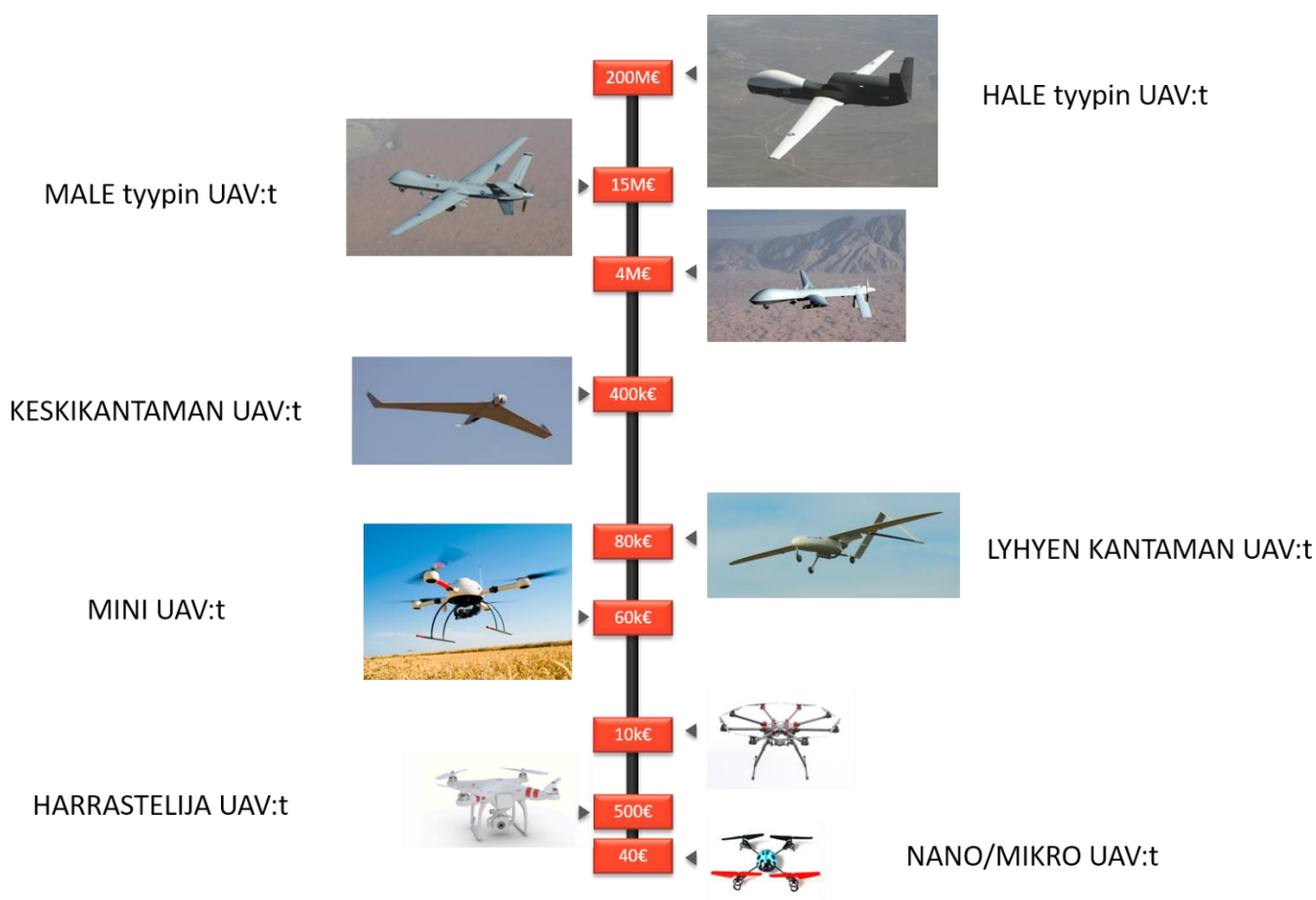
Yrityksen tämänhetkinen päätuote on Korento C10 - ilma-alusjärjestelmä, jonka tuotannon kehittämiseen opinnäytetyöni keskittyy. Yritys valmistaa myös kiinteäsiipisiä miehittämättömiä ilma-aluksia, joista merkittävin on UCA145. Se on 145 kiloa painava kiinteäsiipinen miehittämätön rahtikäyttöön suunniteltu ilma-alus, joka pystyy kantamaan jopa 100 kilon kuorman. UCA145 on maailman ensimmäisiä rahtikäyttöön suunniteltuja miehittämättömiä ilma-aluksia, joka tähtää massatuotantoon.

Korento C10 – ilma-alusjärjestelmää on tällä hetkellä myyty useita kappaleita ja sen markkinat ovat hyvässä kasvussa. Järjestelmä sisältää itse ilma-aluksen tai ilma-aluksia sekä lennon suunnitteluun ja ohjaukseen tarkoitetun ohjelmiston. Tämä järjestelmä on suunniteltu haastaviin olosuhteisiin ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi erilaisissa valvonta- ja mittaustehtävissä. Korento C10 – ilma-alusjärjestelmä on siitä poikkeuksellinen, että se on maailman ensimmäinen kaupallinen ilma-alusjärjestelmä, joka kykenee parvioperointiin. Järjestelmällä voidaan teoriassa ohjata yhtä aikaa jopa yli 200 ilma-alusta. Käytännössä kuitenkin parvioperoinnissa ei käytetä enempää kuin 10 ilma-alusta.

Pohjonen Group Ltd:llä on myös oma tytäryhtiö Portable Airport Oy, joka on rakentamassa miehittämättömien ilma-aluksien tutkimus- ja testikeskusta Karstulaan. Testikeskus tunnetaan koodinimellä Number9. Testikeskukseen kuuluu 400 metriä pitkä kiitotie sekä lennonjohtoon kuuluvat tukijärjestelmät ja rakennukset.

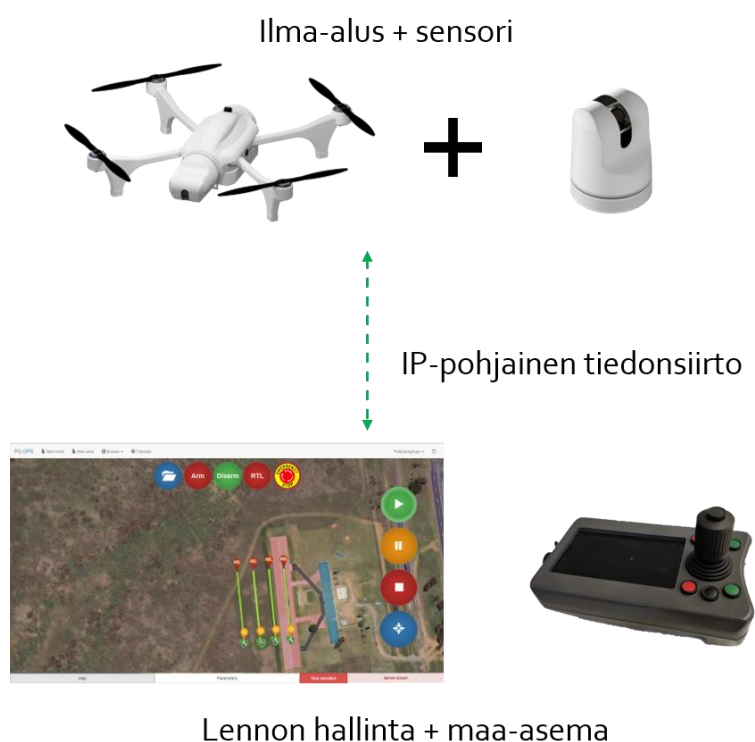
2 MIEHITTÄMÄTÖN ILMA-ALUSJÄRJESTELMÄ

Nykypäivänä miehittämättömien ilma-alusten (UAV) suosio ja käyttö on lisääntynyt räjähdysmäisesti ja niitä käytetään ilmakehän kuvaamisen lisäksi yhä enemmän tutkimus-, mittaus- ja valvontakäyttöön. Miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään useimmin nimitystä drone. Ne voivat olla joko pyöriväsiipisiä tai kiinteäsiipisiä miehittämättömiä ilma-aluksia, jotka voivat toimia joko sähkö- tai polttomoottorilla. Miehittämättömät ilma-alukset voidaan luokitella useaan eri ryhmään niiden koon ja hinnan perusteella. Kuvassa 1 näkyy yksi monista luokittelutavoista. Pienimmät ilma-alukset voivat olla kämmenen kokoisia, kun taas suurimmat voivat olla oikean liikesuihkukoneen kokoisia. Suomessa suurimmat käytössä olevat ilma-alukset ovat puolustusvoimien käytössä olevat Ranger-lentotiedustelujärjestelmä sekä vuonna 2016 käyttöönotettu Orbiter-lentotiedustelujärjestelmä. Molemmat järjestelmät ovat israelilaisen Aeronautics Defence Systemsin valmistamat. (Lentoposti 8.9.2016; Kumpula 2013, 11.)



KUVA 1. UAV-luokittelu

Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä (UAS) on yksi iso kokonaisuus, joka sisältää miehittämättömän ilma-aluksen tai -aluksia, mahdolliset sensorit, ohjausjärjestelmän ja muut vaihtoehtoiset tukijärjestelmät, kuten tiedon ja/tai kuvan siirto maahan ja sen käsittelyyn tarvittavat järjestelmät (KUVA 2). Sensoreina UAV:ssä voidaan käyttää muun muassa erilaisia video- ja still-kameroita, infrapuna-, vääräväri-, hyperspektri- ja lämpökameraa, sekä erilaisia tutkia ja laserkeilaimia. (Kumpula 2013, 11.)



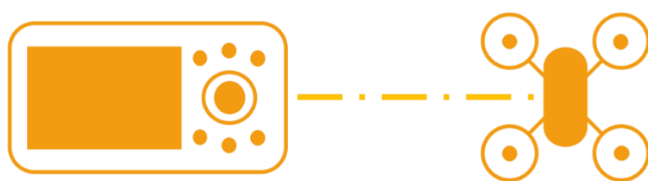
KUVA 2. Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä

2.1 Tiedonsiirto

Miehittämättömien ilma-alusten ohjaus- ja tiedonsiirtotavoista voidaan erottaa kaksi päätyyppiä. Tiedonsiirto ja ohjaus voidaan hoitaa maasta joko point-to-point (P2P) -radiolinkin, tai vaihtoehtoisesti 3G- tai Long Term Evolution (LTE)-verkon kautta, jolloin tiedonsiirron kapasiteetista ja kantamasta saadaan huomattavasti laajempi. P2P-radiolinkki toimii pääsääntöisesti radioaalloilla, mutta hyvin pienissä, mikro-kokoluokan ilma-aluksissa voidaan käyttää myös infrapunayhteyttä. Miehittämätön ilma-alus ei välttämättä tarvitse fyysistä yhteyttä maahan, vaan se voi lentää täysin automaattisesti etukäteen suunnitellun lentoreitin, hoitaen myös nousut ja laskut täysin automaattisesti.

2.1.1 P2P-tiedonsiirto

P2P on yleisin ja eniten käytetty tiedonsiirtotapa (KUVA 3). Se voi yksinkertaisimmillaan olla lähetin-vastaanotinpari, jonka läpi kulkee ohjaus miehittämättömään ilma-alukseen. Tarvittaessa sen läpi voidaan myös tuoda ilma-aluksen telemetriatietoja. Mikäli ilma-aluksesta halutaan saada myös videokuva maahan, käytetään yleensä toista radiolinkkiä kuvan siirtoon. Tällöin on otettava huomioon radiolinkkien taajuuudet, sillä samalla taajuudella olevat radiolinkit saattavat häiritä toisiaan. Yleisesti ottaen tiedonsiirtoon ja videokuvan siirtoon käytettävät radiolinkit valitaan siten, että ne ovat eri taajuusalueilla. Suomessa miehittämättömille ilma-aluksille on varattu taajuusalueet 34,995–35,225 MHz, 2,4–2,4835 GHz ja 5,47–5,875 GHz. Kuitenkin on myös olemassa sellaisia radiolinkkejä, joiden kautta voidaan hoitaa sekä tiedonsiirto, että videokuvan siirto ja lisäksi myös ohjaus. Tämä on mahdollista vain, jos radiolinkin tiedonsiirtonopeus on riittävän suuri videonkuvan, ohjaussignaalin ja tiedon siirtoon.



KUVA 3. Point-to-point-tiedonsiirto

2.1.2 3G- ja LTE-tiedonsiirto

3G- ja LTE-tiedonsiirto, joka tunnetaan myös nimellä 4G, mahdollistaa P2P-tiedonsiirtoon verrattuna paljon laajemman kantamatkan (KUVA 4). Käytännössä miehittämättömän ilma-aluksen tiedonsiirron peittoalue käsittää lähes koko Suomen, mikäli tilannetta tarkastellaan Suomen näkökulmasta. LTE-tiedonsiirto perustuu olemassa olevien mobiiliverkkojen hyödyntämiseen. Yhteys maasta kopteriin kulkee siis mobiiliverkon palveluntarjoajan tukiasemien kautta.

Toimiakseen LTE-tiedonsiirto vaatii ilma-alukseen internetyhteydellä toimivan radiolinkin, toisin sanoen LTE-modeemin, ja maa-asemaan toimivan internetyhteyden, joka on yhteydessä julkiseen verkkoon. LTE-verkon suuri tiedonsiirtonopeus mahdollistaa sekä videon, että tiedonsiirron yhtäaikaista

siirron, samaa kanavaa pitkin, maa-aseman ja ilma-aluksen välillä. LTE-verkon tiedonsiirto on Internet Protocol (IP)-pohjaista, mikä mahdollistaa usean ilma-aluksen ohjaamisen yhtäaikaaisesti. Myös IP-pohjaisilla P2P-radiolinkeillä voidaan ohjata montaa ilma-alusta yhtä aikaa.



KUVA 4. LTE-tiedonsiirto

2.2 Miehistämättömät ilma-alustyypit

Miehistämättömiä ilma-aluksista voidaan erottaa kaksi eri päätyyppiä, joista yleisimmät ovat helikopterityyppiset eli pyöriväsiipiset ilma-alukset ja lentokonetyyppiset eli kiinteäsiipiset ilma-alukset. Lisäksi on olemassa näiden kahden tyypin yhdistelmä, jota kutsutaan Vertical Take-Off and Landing (VTOL)-lentokoneeksi. Se on kiinteäsiipinen miehistämätön ilma-alus, joka voi nousta ja laskea pystysuoraan kuten pyöriväsiipinen UAV.

2.2.1 Pyöriväsiipiset

Pyöriväsiipiset miehistämättömät ilma-alukset voivat olla joko perinteisiä helikopterityyppisiä, tai multikopterityyppisiä. Multikopterityyppisissä ilma-aluksissa on kaksi tai useampi roottori. Niitä ohjataan muuttamalla moottoreiden kierrosnopeuksia ja tämän takia multikoptereissa käytetään kiinteälapakulmaisia potkureita, toisin kuin helikopterityyppisissä ilma-aluksissa. Ohjauksen hoitaa lentotietokone, joka on käytännössä välttämätön pyöriväsiipisissä miehistämättömissä ilma-aluksissa. Lentotietokone ohjaa ilma-alusta useiden sensoreiden avulla. Näitä ovat muun muassa kolmiakselinen kiihtyvyyssanturi,

kompassi, GPS ja ilmanpaineanturi. Nykyajan lentotietokoneet mahdollistavat usean eri lentotilan käytön. Miehittämättömiä ilma-alusta voidaan ohjata täysin manuaalisesti, vahvasti avusteisesti tai täysin automaattisesti. Näistä lentotiloista on olemassa paljon erilaisia variaatioita riippuen lentotietokoneesta.

Pyöriväsiipisten ilma-alusten käyttö tänä päivänä on yleistynyt huomattavasti verrattuna muutaman vuoden takaiseen tilanteeseen. Ilmakuvauksen lisäksi niitä käytetään paljon erilaisissa tutkimus- ja valvontatehtävissä. Tulevaisuudessa miehittämättömiä ilma-aluksia voidaan käyttää myös kaukokartoitukseen. Aluksi se tulee yleistymään pyöriväsiipisissä ilma-aluksissa, mutta myöhemmin myös kiinteäsiipisissä ilma-aluksissa. Käytännössä kaukokartoituksen sovelluskohteita ovat mm. maanviljelyn täsmälannoitus, metsien inventointimittaukset, uuden metsän kylväminen, tuholannoitus, veden laadun mittaus sekä rakennettujen ympäristöjen mittaukset. Kuvaaminen ja mittaukset voidaan hoitaa erilaisilla näkyvän valon kameroilla, lämpö- ja spektrikameroilla sekä laserkeilaimilla. Pyöriväsiipisillä ilma-aluksilla tehtävä työ on verrattain hidasta, sillä niiden nopeudet eivät ole kovin suuria. Yleensä pyöriväsiipisten ilma-alusten nopeudet ovat välillä 0-15 m/s, joka vastaa noin 0-54 km/h. (VTT 4.5.2017.)

2.2.2 Kiinteäsiipiset

Kiinteäsiipiset miehittämättömät ilma-alukset ovat kuin oikeita lentokoneita, mutta vain paljon pienempiä. Kiinteäsiipisiä miehittämättömiä ilma-aluksia kutsutaan usein myös lennokeiksi. Lennokkeihin pätevät pääsääntöisesti samat aerodynaamiset lainalaisuudet kuin täysikokoisiin miehitettyihin ilma-aluksiin. Lennokkien koot voivat vaihdella muutamasta kymmenestä sentistä useaan metriin ja painot vaihtelevat muutamista grammoista useisiin kymmeniin kiloihin. Lennokkien voimanlähteenä käytetään yleensä sähkömoottoria tai polttomoottoria, mutta myös ilman moottoria lentäviä liidokkeja on olemassa. Kuvassa 5 on yksi suurimmista käytössä olevista miehittämättömistä kiinteäsiipisistä ilma-aluksista. Kyseinen ilma-alus on tiedustelukäytössä Yhdysvaltain armeijalla. Sen siipikärkiväli on 17 metriä ja sen suurin lentoonlähtöpaino on 1633 kiloa.



KUVA 5. General Atomics MQ-1C Gray Eagle kiinteäsiipinen MALE UAV

Lennot eroavat ohjaukseltaan pyöriväsiipisistä miehittämättömistä ilma-aluksista siinä, että lennokkien ohjaamiseen ei tarvitse välttämättä olla lentotietokonetta, vaan lennokkeja voidaan ohjata suoraan P2P-linkin vastaanottimella. Tätä ohjaustapaa kutsutaan nimellä fly-by-wire (FBW) ja se on ainoa ohjaustapa ilman lentotietokonetta. Kun lennokissa on lentotietokone, sitä voidaan ohjata manuaalisesti, vahvasti avustetusti tai täysin automaattisesti kuten pyöriväsiipistä ilma-alusta. Lennot tarvitsevat aina eteenpäin suuntautuvaa liikettä pysyäksensä ilmassa.

Lennot eivät voi nousta ja laskea pystysuoraan kuten pyöriväsiipinen ilma-alus, ellei kyseessä ole VTOL-lentokone (KUVA 6). Lennot vaativat jonkin verran kiitotietä nousua varten, riippuen lennokin koosta, ellei niitä voida heittää tai laukaista katapultilla ilmaan. Lennokeilla saavutetaan kuitenkin huomattavaa hyötyä toimintamatkassa, -ajassa ja kuorman kantokyvyssä verrattuna pyöriväsiipisiin ilma-aluksiin. Lennot voivat lentää useita satoja kilometrejä, pysyä useita tunteja ilmassa ja kuljettaa jopa satoja kiloja kuormaa.



KUVA 6. Miehitetty VTOL-lentokone

Lennokkeja voidaan käyttää samoihin käyttötarkoituksiin kuin pyöriväsiipisiä ilma-aluksia, mutta työn suorittaminen lennokeilla on pääsääntöisesti tehokkaampaa, koska niiden nopeudet ovat paljon suuremmat kuin pyöriväsiipisten ilma-alusten. Lennokkien nopeudet voivat olla pienimmillään 40km/h ja suurimmillaan jopa yli 400km/h. Lennokkeja voidaan käyttää myös kuorman kuljettamiseen pitkiä matkoja.

2.3 Lainsäädäntö

Vuoden 2017 alusta tuli Liikenteen turvallisuusvirastolta (Trafi) uusi määräys koskien miehittämättömien ilma-alusten käyttöä ja lennätystä. Määräys koskee kaikkia miehittämättömiä ilma-aluksia, jotka painavat enemmän kuin 250g. Määräys ei koske sotilasilmailua eikä sisätiloissa tapahtuvaa lentotoimintaa. (Trafi 2017, 2)

Ennen kuin miehittämätöntä ilma-alusta käytetään ilmailuun ensimmäisen kerran, käyttäjän on ilmoitettava Trafille seuraavat tiedot, eli ilma-alus on rekisteröitävä:

- ilma-aluksen käyttäjän tiedot,
- tekniset perustiedot ilma-aluksesta,
- lentotoiminnan laajuus ja laatu,
- tieto, aiotaanko lentotoimintaa harjoittaa tiheästi asutulla alueella asutuskeskuksissa,

- tieto, aiotaanko lentotoimintaa harjoittaa väkijoukon yllä.

Lentotoiminnan harjoittamiseen ei kuitenkaan vaadita lentotyölupaa, eikä miehittämättömän ilma-aluksen käyttöön sovelleta mitään lentotyöstä annettuja muita sääntöjä ja määräyksiä. (Trafik 2017, 3.)

Lyhykäisyydessään miehittämättömän ilma-aluksen käyttäjän on oltava vähintään 18-vuotias, hänen on tiedostettava ilma-aluksesta aiheutuvat vaarat ja kyettävä käyttämään ilma-alusta turvallisesti myös hätätilanteissa. Ilma-aluksessa on oltava sellainen järjestelmä, joka tekee siitä vaarattoman sellaisessa tilanteessa, jossa ilma-alus vikaantuu tai yhteys siihen katkeaa. Ilma-aluksessa on myös oltava käyttäjän nimi ja yhteystiedot. Käyttäjän on myös tallennettava lentotoiminnoista seuraavat tiedot:

- lentotoiminnan päivämäärä,
- lennätyspaikka,
- ilma-aluksen päällikkö eli ohjaaja,
- ilma-aluksen valmistaja ja malli,
- lentotoiminnan alkamis- ja päättymisaika,
- lentotoiminnan laatu; onko toiminta suoraan näköyhteyteen perustuva eli visual line of sight (VLOS) vai näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa eli beyond visual line of sight (BVLOS),
- lentotoiminnan luonne ja mahdollisen tähystäjän käyttö. (Trafik 2017, 3-4.)

Miehittämätöntä ilma-alusta saa lennättää sellaisilla alueilla, missä lentotoimintaa ei ole kielletty muulta ilmailulta tai mikä on miehittämättömän ilma-aluksen lennättämistä varten erotettu. Näillä alueilla on noudatettava seuraavia ohjeita:

- miehittämätön ilma-alus ei saa painaa yli 25 kiloa.
- lentotoiminta pitää tapahtua näköyhteyden sisäpuolella (VLOS) ja sen on oltava koko ajan ohjattavissa ja sen on kyettävä väistämään muita ilma-aluksia.
- tähystäjää käytettäessä, ilma-aluksen ohjaajalla ja tähystäjällä on oltava luotettava viestintäväline, mikäli suora puheyhteys ei ole mahdollinen.
- lentokorkeus ei saa ylittää 150 metriä maa tai veden pinnasta. (Trafik 2017, 4.)

Mikäli lentotoimintaa harjoitetaan lentoaseman läheisyydessä, lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä tai radiovyöhykkeellä, on suurin sallittu lentokorkeus 50 metriä maan tai veden pinnasta. Vaakasuora etäisyys kiitotiehen on tässä tapauksessa oltava vähintään 5 kilometriä. Jos ilma-alusta lennätetään lähempänä tai korkeammalla, on lentotoiminnan harjoittamisesta sovittava erikseen ilmailukennepalvelun

tarjoajan kanssa. Miehittämättömän ilma-aluksen on aina väistettävä muita ilma-aluksia. (Trafi 2017, 4-5.)

Väkijoukon yllä tapahtuva lentotoiminta on sallittua vain, jos ilma-alus painaa enintään 7kg, lennätys tapahtuu näköyhteyden sisäpuolella ja lentokorkeuden on oltava sellainen, että mahdollinen hätälasku voidaan suorittaa tuottaen mahdollisimman vähän vahinkoa ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen. Lisäksi lentotoiminnasta on tehty kirjallinen turvallisuusarviointi, riskien arviointi sekä toimintaohjeistus normaalitoiminnassa ja häiriötilanteessa. Nämä asiakirjat tulee säilyttää vähintään kolme kuukautta ja esitettävä valvontaviranomaiselle pyydettyä. Miehittämättömille ilma-aluksille tapahtuneet mahdolliset poikkeamat, onnettomuudet ja vaaratilanteet on ilmoitettava Trafille. (Trafi 2017, 5.)

Mikäli suoritetaan näköalueen ulkopuolella tapahtuvaa lentotoimintaa, on se suoritettava siihen erikseen varatulla alueella ja toiminnassa on noudatettava seuraavia ohjeita:

- toiminnasta on laadittu kirjallinen turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
- toiminnasta on laadittu toimintaohjeistus,
- edellä mainitut asiakirjat on säilytettävä vähintään kolme kuukautta. (Trafi 2017, 5.)

Kiinteäsiipisten miehittämättömien ilma-alusten lentotoiminnassa noudatetaan samoja ohjeita muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kiinteäsiipisen ilma-aluksen lennättäminen väkijoukon yllä on kiellettyä ja tiheästi asutun asutuskeskuksen läheisyydessä lennättäminen on sallittua vain, jos lentoonlähetyksessä on enintään 3kg, lentotoiminnan harjoittaja on tutustunut alueeseen ja varmistunut ilma-aluksen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lentäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Lennättäminen videolinkin avulla (FPV) on sallittua yhden avustajan avulla, joka varmistaa turvallisen lentotoiminnan havainnoimalla muun liikenteen ja esteet sekä arvioi väistämistarpeet luotettavasti ilman apuvälineitä. Avustajalla on oltava myös suora näköyhteys ilma-alukseen ja puheyhteys ohjaajaan ilman viestintävälinettä. (Trafi 2017, 6-7.)

3 TUOTANNON LAYOUT

Tuotannon layoutilla tarkoitetaan sitä, miten tehtaan fyysiset osat, eli tuotantotilan laitteet, työpisteet, kulkureitit, varastot ja muut tarvittavat asiat, on sijoiteltu tehtaaseen. Layoutit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin sen mukaan, miten tehtaan koneet, laitteet ja kulkureitit on sijoiteltu. Nämä kolme päätyyppiä ovat funktionaalinen layout, tuotantolinja layout ja solulayout. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Mietinen 2009, 475.)

Layoutin tavoitteena on saada sijoiteltua koneet ja laitteet tehtaaseen siten, että materiaalin ja tuotteiden kulku tuotannon läpi olisi mahdollisimman sujuvaa ja selkeää. Kaikesta tuotteen arvoa lisäämättömistä prosesseista pyritään pääsemään eroon, joita ovat muun muassa työpisteiden väliset kuljetukset, jonottaminen ja turhat välivarastot. Tuotannonohjaus helpottuu, kun tuotannossa on selkeä materiaalivirta. Myös muut tuotannossa esiintyvät toiminnot helpottuvat. (Haverila ym. 2009, 482.)

Layoutin valintaan ja suunnitteluun vaikuttaa tuotettavien tuotteiden määrä ja tuotevalikoiman laajuus. Tuotantolinja on parhaimmillaan, kun tuotetaan suuria määriä saman tyyppisiä tuotteita. Funktionaalinen layout on hyvä valinta silloin, kun tuotettavia tuotetyyppejä on paljon, mutta tuotantomäärät pienet. Solulayout on hyvä silloin, kun valmistetaan eri tuotteita toistuvasti, mutta ei niin paljon, että tuotantolinjan perustaminen olisi kannattavaa. Erityyppisten tuotteiden valmistus on paljon joustavampaa soluissa kuin tuotantolinjalla. (Haverila ym. 2009, 479.)

Layoutsuunnittelun perustana voidaan käyttää seuraavaa listaa:

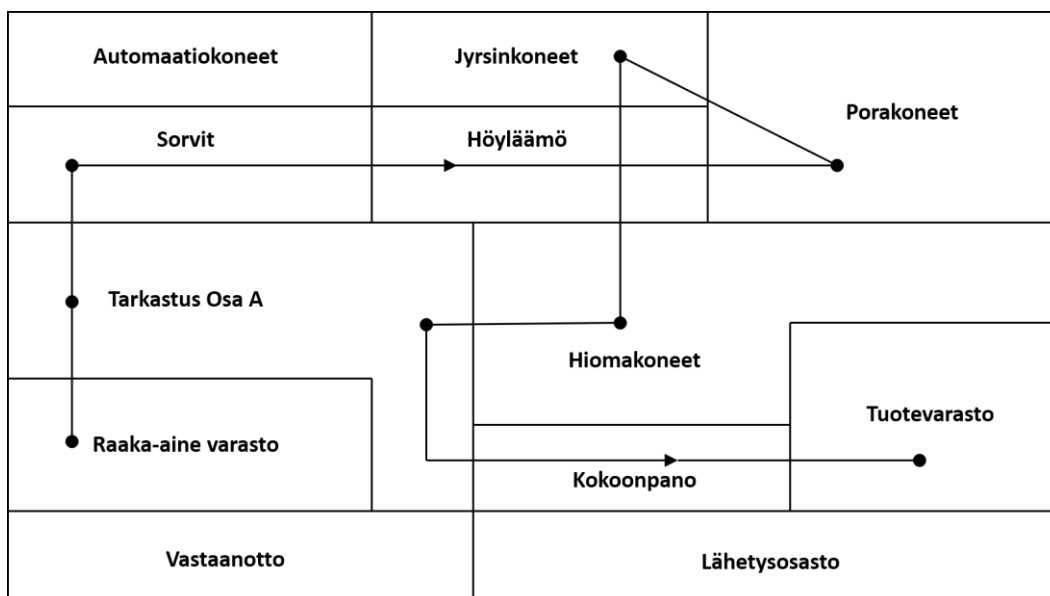
1. tuotteiden rakennetiedot – näistä näkee tuotteessa käytettävät puolivalmisteet, komponentit ja raaka-aineet.
2. työvaiheistus – kuvaa, mitä tuotteelle pitää tehdä ja missä järjestyksessä.
3. tuotantomäärä – tämän avulla voidaan määrittää tuotantomuoto, tuotantotekniikka sekä tuotteen valmistamiseen käytettävät koneet.
4. tuotannon aikajänne – kertoo, kuinka kauan nykyinen tuotantosuunnitelma tulee pysymään ja tämä osaltaan vaikuttaa investointien kannattavuuteen.
5. tukitoiminnot – määrittävät, mitä tukitoimintoja tuotannossa tarvitaan, esim. sosiaalityö, työkaluhuolto ja jätteiden käsittely. (Haverila ym. 2009, 481.)

3.1 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layoutissa työtehtävän samankaltaisuus on perusteena sille, miten työkoneet ja työpisteet on järjestetty. Esimerkiksi hiomakoneet ovat hiomossa ja automaattikoneet ovat niille tarkoitettulla paikalla (KUVA 7). (Haverila ym. 2009, 475.)

Funktionaalisessa layoutissa tuotetyyppien ja -määrien vaihtelu voi olla huomattavan suurta. Tuotteet voidaan valmistaa joko yksittäiskappaleina tai sarjoina, ja koneet ovat yleensä sellaisia, että niillä voidaan valmistaa joustavasti erilaisia tuotteita. Materiaalin käsittelyyn voidaan käyttää vain hyvin rajoitusti automaatiota johtuen erilaisista tuotteista, joiden työnkulku poikkeaa toisistaan merkittävästi. Työnohjaus on erittäin haastavaa, sillä tuotannonohjaus perustuu töiden järjestämiseen eri koneille. Tästä johtuen funktionaalisessa layoutissa syntyy välivarastoja ja jonoja koneille, mikä kasvattaa keskeneräisiä töitä ja tuotteiden läpimenoaikoja. Lisäksi myös hyvin useasti työkoneiden ja -pisteiden etäisyydet ovat suuret, mikä johtaa suuriin kuljetus- ja käsittelykustannuksiin. Kaikki nämä johtavat siihen, että tuotteiden laadunhallinta on hankalaa. (Haverila ym. 2009, 476.)

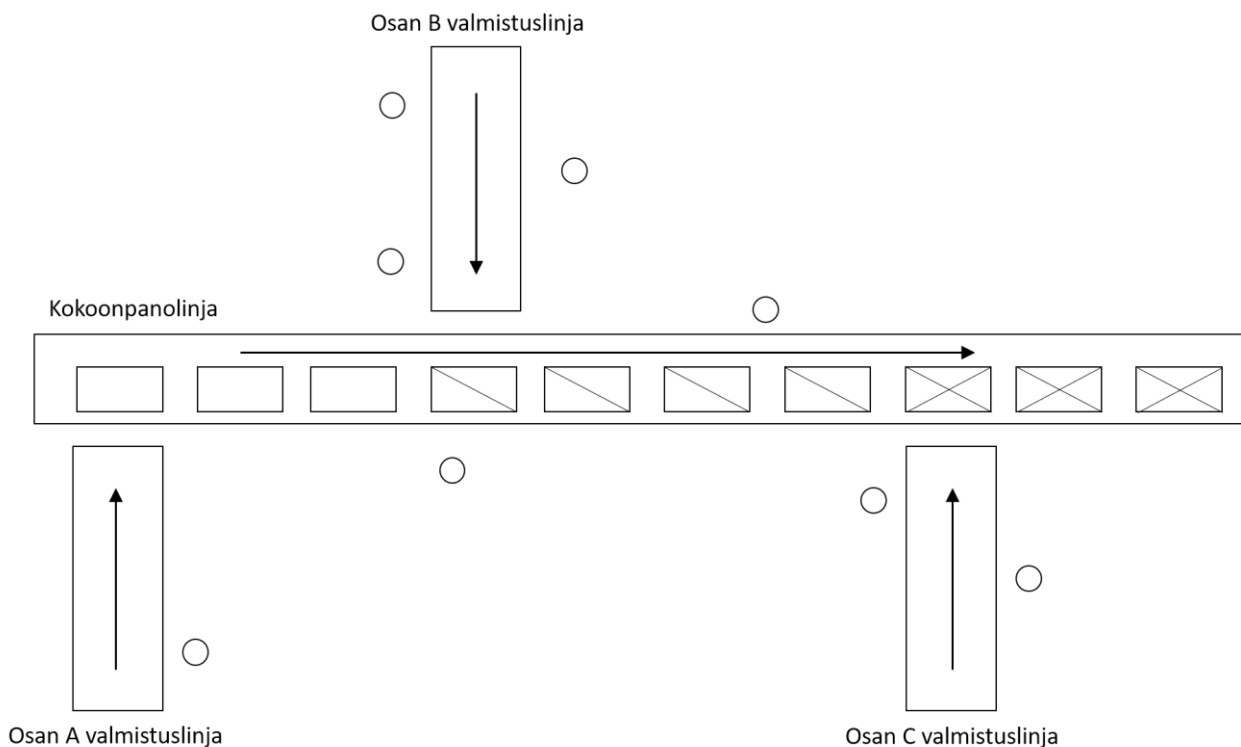
Funktionaalisen layoutin suunnittelu ja toteutus ovat halpaa ja helppoa verrattuna tuotantolinjaan. Tuotetyypin vaihtaminen ja tuotannon kapasiteetin kasvattaminen ovat joustavaa, mutta tuottavuus ja kuormitusaste jäävät tuotantolinjaan verrattuna heikommiksi. (Haverila ym. 2009, 475-476.)



KUVA 7. Funktionaalinen layout (mukaillen Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 477)

3.2 Tuotantolinja

Tuotantolinja on nimensä mukaisesti linja, jonka läpi tuote kulkee johdonmukaisessa järjestyksessä (KUVA 8). Koneet ja laitteet on täten sijoitettu tuotteen työkulun mukaiseen järjestykseen. Tuotantolinjalla tehdään pääasiassa vain yhtä tuotetta ja suuria määriä. Tuotanto on hyvin pitkälle automatisoitua ja tehokasta ja työvaiheiden välillä voidaan käyttää mekaanisia kuljettimia, kuten perinteistä liukuhihnaa. Tästä johtuukin, että työnkulku on erittäin selkeää. (Haverila ym. 2009, 475.)



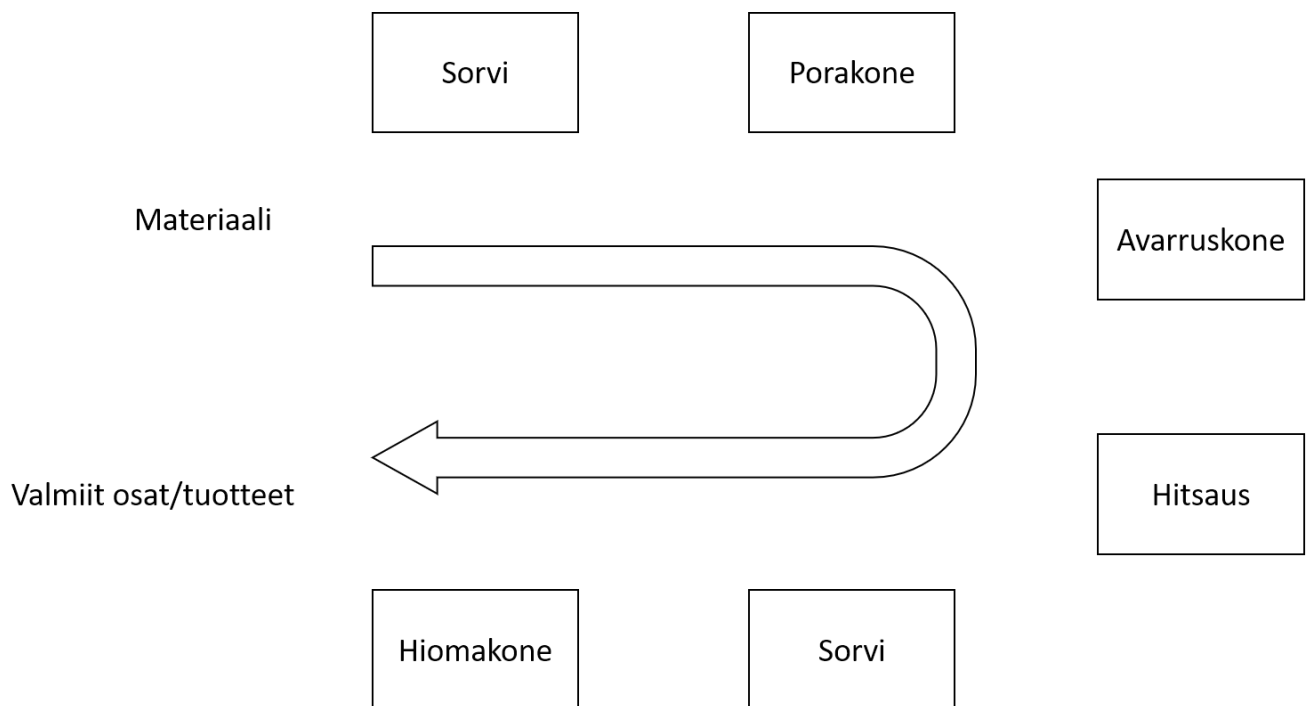
KUVA 8. Tuotantolinja (mukaillen Haverila ym. 2009, 476)

Tuotantolinjan suunnittelussa keskeisimmät asiat ja edellytykset ovat suuret tuotantomäärät ja korkea kuormitusaste. Tuotantolinjalla tuotteen yksikköhinta saadaan hyvin alhaiseksi suurten tuotantomäärien ansiosta, vaikka itse tuotantolinjan rakentaminen tulisi kalliiksi. Tuotantolinjan tuottavuus on korkea, mutta jo pienikin häiriö tuotantolinjalla vaikuttaa sen tuottavuuteen negatiivisesti erittäin paljon. Siksi tuotannonohjauksessa on pyrittävä minimoimaan pienienkin häiriöiden syntymiset ja riskit. (Haverila ym. 2009, 475.)

Tuotantolinjalla laadunvalvonta on erittäin suuressa roolissa, sillä häiriöiden aiheuttamat kustannukset ovat suuret ja linja pystyy tuottamaan myös viallisia tuotteita hyvin suuria määriä nopeasti. Tuotantolinjan kapasiteetin kasvattaminen on jälkeenpäin hankalaa. Tuotantosarjat linjalla ovat yleensä pitkiä, koska tuotteen vaihtaminen toiseen vie paljon aikaa ja työtä johtuen pitkistä asetusajoista. Tuotannon ohjaus tuotantolinjalla on helppoa, koska työnkulku on suoraviivaista ja selkeää ja tuotantoa ohjataan yleensä yhtenä kokonaisuutena. (Haverila ym. 2009, 475-476.)

3.3 Solulayout

Solulayout on itsenäinen ryhmä, joka muodostuu koneista ja työpisteistä ja se on erikoistunut erilaisten työvaiheiden suorittamiseen tai valmistamaan tiettyä tuotteen osaa tai kokonaista tuotetta (KUVA 9). Solulayout voidaan mieltää eräänlaiseksi tuotantolinjan ja funktionaalisen layoutin välimuodoksi. (Haverila ym. 2009, 477.)



KUVA 9. Solulayout (mukaillen Haverila ym. 2009, 478)

Solujen läpimenoajat ovat lyhyet ja solut ovat myös tehokkaampia omassa tuoteryhmässä verrattuna funktionaaliseen layouttiin. Materiaalivirta soluissa on selkeää ja välivarastoja ei muodostu. Tuotanto soluissa on joustavaa niiden tuotteiden/osien suhteen, joiden valmistukseen solu on suunniteltu. Myös

asetusajat tuotteesta/osasta toiseen ovat lyhyet. Solut ovat joustavampia kuin tuotantolinja, mutta ei yhtä joustavia kuin funktionaalinen layout. (Haverila ym. 2009, 477-478.)

Soluissa valmistetaan tuotteita yksittäiskappaleina tai sarjoina ja niiden tuotantomäärät ja eräkoot voivat vaihdella paljon. Solu muodostaa kokonaistuotannossa vain yhden kuormituspisteen, joten sen tuotannonohjaus on helppoa. Solujen laadunvalvonta on helppoa, koska eri valmistusvaiheet suoritetaan samalla alueella. Myös virheiden löytäminen ja korjaaminen on helppoa. Kuormitusasteet soluissa voivat vaihdella melko paljon ja ne ovat keskimäärin alhaisemmat kuin tuotantolinjalla. Solulayout on myös herkempi kuormituksen vaihteluille ja tuotevalikoiman muutoksille kuin funktionaalinen layout. (Haverila ym. 2009, 478.)

Solulayoutia pidetään hyvänä ratkaisuna, koska sen väitetään vaikuttavan työntekijöiden motivaatioon ja tuottavuuteen positiivisesti. Soluissa työskentelevät ryhmät vastaavat työn suunnittelusta ja toteutuksesta itse ja työntekijät voivat itse vaikuttaa työnjakoon ja tehtävien kierrättämiseen solussa. (Haverila ym. 2009, 478.)

4 LEAN-TUOTANTOJÄRJESTELMÄ

Lean on organisaation toimintastrategia, joka on alkujaan kehitetty Toyota Production Systemin (TPS) pohjalta. Se on kehitetty Toyotan tehtaalla Japanissa. TPS:n kehitti Taiichi Ohno, Toyotan perustajan Kiichiro Toyodan serkun, Eiji Toyodan, kanssa 1930-luvulla. TPS on Toyotan tuotantofilosofia, joka perustuu virtauksen ja sitä kautta myös tuottavuuden parantamiseen erilaisten keinojen avulla. Taiichi Ohno kehitti TPS:ä jatkuvasti lähes 60 vuotta tervettä järkeä käyttämällä ja yritykseen vahvasti sitoutumalla. (Modig & Åhlström 2016, 78.)

Käsite *lean production* on tullut esille vasta vuonna 1988 TPS:n tutkijan, John Krafcikin kirjoittamassa artikkelissa. Krafcik murskasi myytin, jonka mukaan tuottavuutta saadaan mittakaavaeduilla ja huipputekniikalla. Hän osoitti, että Toyotan tehtaot voisivat taata sekä hyvän tuottavuuden että hyvän laadun, vaikka niissä oli pienet varastot ja puskurit ja yksinkertainen tekniikka. Krafcik päätti antaa tälle tehokkaalle tuotantojärjestelmälle nimen lean. (Modig & Åhlström 2016, 78-79. [Krafcik 1988])

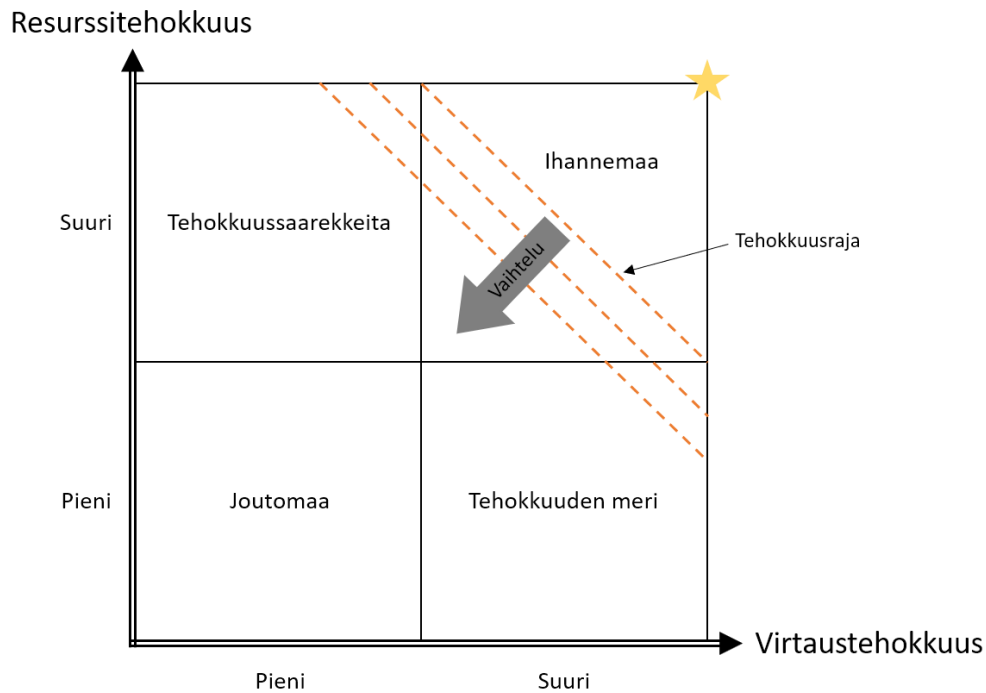
Leanissa keskeisintä on asiakaslähtöinen ajattelu ja lähestymistapa, joiden pohjalta tuotannon ja koko organisaation toimintaa ryhdytään kehittämään. Leanin tarkoituksena on jatkuvien parannusten kautta parantaa tuotannon toimintaa ja virtaustehokkuutta. Tarkoituksena on myös parantaa työskentelyolosuhteita ja yrityksen kilpailukykyä, mahdollistaa työntekijöiden osallistumisen organisaation kehittämiseen, parantaa tuotteiden laatua, ja vähentää varastoja jne. Lyhyesti sanottuna leanin tarkoituksena on siis tehdä oikeita asioita (Kouri 2010, 6-7.).

4.1 Tehokkuusmatriisi

Leania voidaan tulkita ja selventää tehokkuusmatriisin avulla (KUVA 10). Matriisi valaisee, miten organisaation voi luokitella kahden ominaisuuden mukaan:

- a) Pieni vai suuri resurssitehokkuus.
- b) Pieni vai suuri virtaustehokkuus.

Tehokkuusmatriisissa voidaan erottaa neljä eri paikkaa, jossa organisaatio voi sijaita. (Modig & Åhlström 2016, 100.)



KUVA 10. Tehokkuusmatriisi (mukaillen Modig & Åhlström 2016, 100, 103, 105, 106)

Tehokkuussaarekkeissa on suuri resurssitehokkuus ja pieni virtaustehokkuus. Tällöin organisaatio koostuu monista toisistaan riippumattomista, osaoptimoiduista osista, jotka yrittävät päästä maksimaaliseen resurssien käyttöön. Resurssien tehokas käyttö kuitenkin tapahtuu virtaustehokkuuden kustannuksella, joten jokaisen virtausyksikön virtaustehokkuus on pieni. Valmistavassa teollisuudessa tämä tarkoittaa suuria varastoja ja palveluissa suuria odotusaikoja. (Modig & Åhlström 2016, 101.)

Tehokkuuden meressä päinvastoin virtaustehokkuus on suuri ja resurssitehokkuus on pieni. Pää tavoitteena on mahdollisimman nopea ja hyvä asiakaspalvelu eli pääpaino on asiakkaassa ja asiakkaan tarpeissa. Maksimaalisen virtaustehokkuuden saavuttamiseksi vaaditaan vapaata kapasiteettia resursseista. Toisin sanoen suuren virtaustehokkuuteen päästään resurssitehokkuuden kustannuksella. Tällaisessa tilanteessa vaarana on, että organisaation resurssit loppuvat kesken. Lisäksi tehokkuuden meren alueelle pääseminen vaatii hyvää kokonaisuuden ymmärtämistä. (Modig & Åhlström 2016, 101.)

Joutomaa on aluetta, jonne mikään organisaatio ei halua joutua. Siellä organisaatio ei onnistu käyttämään resursseja tehokkaasti eikä luomaan hyvää virtausta läpi prosessien. Tällä alueella resursseja siis tuhlaa ja asiakkaan saama arvo on mitätön. (Modig & Åhlström 2016, 101-102.)

Viimeisenä lokerona on ihannemaa, jonne kaikki organisaatiot pyrkivät. Siellä olevat organisaatiot ovat sekä resurssi- että virtaustehokkaita. Sinne pääsy on kuitenkin erittäin haasteellista, koska organisaation prosesseissa syntyy aina vaihteluita, jotka vaikuttavat sekä resurssi- että virtaustehokkuuteen. (Modig & Åhlström 2016, 102.)

Organisaatiot voivat sijaita tehokkuusmatriisin eri kohdissa, mutta ymmärtääksemme, mihin organisaatio voi päästä, meidän on ymmärrettävä vaihtelun merkitys ja kuinka se vaikuttaa mahdollisuuteen yhdistää suuri resurssi- ja virtaustehokkuus. Organisaatio, joka käyttää resursseja maksimaalisen tehokkaasti ja jonka virtaustehokkuus on maksimaalinen, sijoittuisi matriisissa tähden kohdalle. Tämän tähden voi kuitenkin saavuttaa vain teoriassa, sillä sinne pääsy vaatisi kahta asiaa: täydellistä resurssijoustavuutta sekä täydellistä tietoa asiakkaiden nykyisistä ja tulevista tarpeista. Tähteä on hyvä tavoitella, mutta sitä on mahdoton saavuttaa johtuen kysynnän ja tarjonnan vaihteluista. (Modig & Åhlström 2016, 102.)

Kuvan 4 tehokkuusraja määräytyy siis tarjonnan ja kysynnän vaihteluista. Sen yli organisaatio ei voi päästä, koska on olemassa rajat sille, miten paljon organisaatio voi nostaa resurssi- ja virtaustehokkuuttaan. Organisaatio voi kuitenkin sijoittua tehokkuusrajan alapuolelle mihin tahansa riippuen siitä, pitääkö se tärkeämpänä hyvää resurssitehokkuutta vai hyvää virtaustehokkuutta. Suuren vaihtelun omaavan organisaation on vaikeampi päästä tehokkuusrajalle kuin sellaisen organisaation, jolla on vähän vaihtelua. Tätä kuvaa tehokkuusmatriisissa oleva vaihtelu. Voidaankin todeta, että kyky vaikuttaa vaihteluun on kaiken perusta. Kaikki riippuu siis organisaation strategiasta ja minne kohtaa tehokkuusmatriisia se haluaa sijoittua. (Modig & Åhlström 2016, 102-107.)

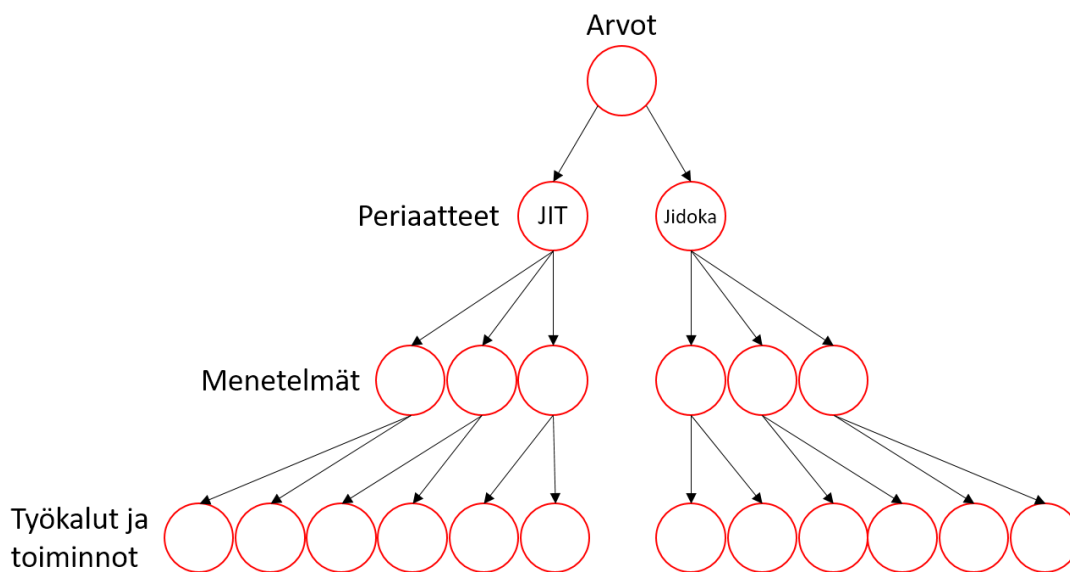
4.2 Lean

Kirjassaan Tätä on lean (2016, 123), Niklas Modig ja Pär Åhlström kertovat, että leania voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta heidän näkemyksensä mukaan lean ei ole menetelmiä, työkaluja tai periaatteita, vaan se on toimintastrategia, strategia tavoitteen saavuttamiseksi. Tärkeintä on tavoitella tähteä ja siirtyä tehokkuusmatriisissa oikealle ja ylöspäin. Lean-toimintastrategia pyrkii siis kasvattamaan virtaustehokkuutta, niin että myös resurssitehokkuus kasvaa samalla. Leanin toteuttamiseksi käytetään keinoja, jotka voidaan jakaa neljään eri ryhmään (KUVA 11):

- Arvot, eli millainen organisaation on oltava.
- Periaatteet kertovat, miten organisaation tulee ajatella.

- Menetelmät määrittävät, mitä organisaation tulee tehdä.
- Työkalut ja toiminnot määrittävät, mitä organisaation tulee käyttää.

Nämä eri keinot määritellään eri abstraktiotasoilla, joista arvot ovat ylimmällä ja työkalut alimmalla tasolla. Lean voidaan siis toteuttaa monilla eri tavoin. On hyvä ymmärtää, että leanin toimintastrategian toteuttamisessa ei ole tärkeintä, miten virtausta parannetaan, vaan että sitä parannetaan. Tähän tavoitteeseen päästäkseen organisaatioiden pitää kehittää erilaisia ratkaisuja, menetelmiä ja työkaluja omaan työympäristöön sopivaksi, jotta ne voivat toteuttaa leania toimintastrategiaa. (Modig & Åhlström 2016, 140-146.)



KUVA 11. Leanin keinot (mukaien Modig & Åhlström 2016, 138)

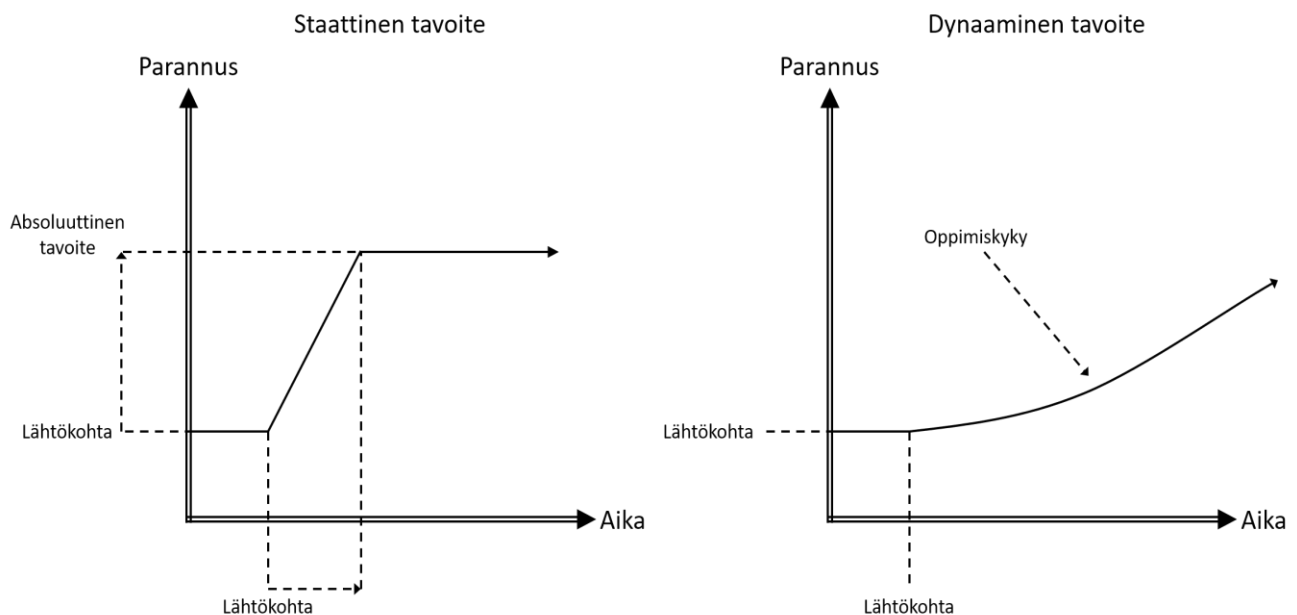
TPS:n pääperiaatteet ovat just-in-time (JIT) ja Jidoka. JIT-tuotannon tarkoitus on, että tehdään oikeita asioita oikeaan aikaan, luodaan tuotantoon virtaus karsimalla varastot ja tehdään vain sitä, mitä asiakas haluaa. Jidokan periaatteena on, että luodaan näkyvä ja visuaalinen organisaatio. Jos jokin asia haittaa tai estää virtausta, se huomataan heti ja voidaan korjata. Jidokan avulla myös pyritään poistamaan hukkaa ja tehottomuutta virtaustehokkuuden parantamiseksi. Jotta hukka pystyttiin poistamaan ja tunnistamaan, Toyota määrittä seitsemän eri hukan muotoa:

- Tarpeeton tuotanto/liikatuotanto
- Turha odottelu
- Tarpeettomat kuljetukset (materiaalit ja tuotteet)
- Tarpeeton työ/liikatyö
- Tarpeeton varastointi

- Tarpeettomat työntekijöiden liikkumiset
 - Tarpeettomat virheet → työn tekeminen uudelleen, päällekkäinen työ
- (Modig & Åhlström 2016, 75, 135.)

Menetelmistä muutamia paljon käytettyjä ovat muun muassa arvovirtakuvaus (value stream mapping), 5S (sortteeraus eli lajittelu, systematisointi, siivous, standardointi ja seuranta), imuohjaus ja kanban. Menetelmiä käytetään periaatteiden saavuttamiseen.

Leanin pääpaino on jatkuvassa parantamisessa. Jokaisella työntekijällä on vastuu tuotteen ja toiminnan laadusta sekä kehitystyöstä. Ongelmat tulee siis nähdä mahdollisuutena kehittää tuotetta ja toimintaa, eikä pelkkänä negatiivisena asiana. Kirjassa, Tätä on lean, kuitenkin selvennetään, että leanin tavoitteita ei ole hyvä asettaa staattisiksi vaan dynaamisiksi, sillä leanin pääpano ei ole virtaustehokkuuden tason absoluuttisessa parannuksessa, vaan siinä, että parannuksia jatketaan kaiken aikaa (KUVA 12). (Modig & Åhlström 2016, 151).



KUVA 12. Staattinen ja dynaaminen tavoite (mukaillen Modig & Åhlström 2016, 150-151)

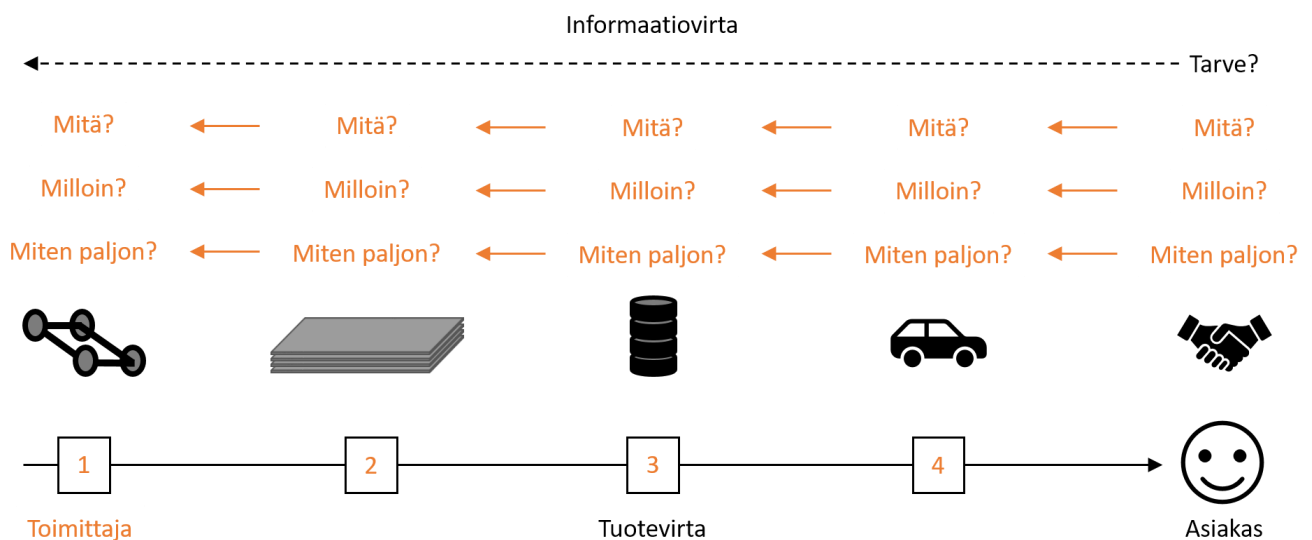
Leanin kaksi keskeistä arvoa, kunnioitus ja yhteistyö, ovat edellytyksiä sille, että virtaus saadaan tehokkaaksi. Nämä kaksi keskeistä arvoa ovat tärkeitä siksi, että keskittyminen virtaustehokkuuteen pakottaa kaikki organisaatiossa tulemaan riippuvaisiksi toisistaan ja tekemään yhteistyötä. Leanin toteuttamiseksi on siis syytä kouluttaa työntekijöitä tekemään yhteistyötä ja kunnioittamaan toisia ja tällöin myös arvot voivat nivoutua olennaiseksi osaksi organisaatiota. (Modig & Åhlström 2016, 142-143.)

4.3 JIT-tuotanto

Kuten jo luvussa 4.2 tuli esille, JIT on sitä, että luodaan tuotantoon virtaus karsimalla kaikki varastot ja tuottamalla vain sitä, mitä asiakas haluaa. Tärkeintä on tehdä oikeita asioita oikeaan aikaan. JIT-tuotanto on tilauslähtöistä tuotantoa eli tuotanto aloitetaan vasta sitten, kun asiakas on tehnyt tilauksen. Asiakkaiden tarpeet kartoitetaan kolmella kysymyksellä: mitä asiakas haluaa, milloin asiakas haluaa tuotteen ja millaisia määriä tuotetta halutaan. Tämän pohjalta Toyota kehitti menetelmän imuohjaus. (Modig & Åhlström 2016, 72.)

4.3.1 Imuohjaus

Imuohjaus on yksi ja ehkä tärkein menetelmistä, jolla voidaan saavuttaa JIT-tuotanto. Imuohjattu tuotanto on tilauslähtöistä. Kun asiakas tilaa tuotteen/palvelun, tilauksen tiedot kulkevat vastavirtaan tuotannossa ja näin ollen prosessiin saadaan tiedot siitä, mitä, milloin ja mikä verran asiakas haluaa. Imuohjauksessa tuotantoprosessi voidaan nähdä suurena virtauksena, joka koostuu eri tuotantovaiheista (KUVA 13).



KUVA 13. Yksinkertaistettu tuotantoprosessi imuohjauksessa (mukaillen Modig & Åhlström 2016, 73)

Kuvan tuotantoprosessi koostuu neljästä eri vaiheesta. Neljäs vaihe on lähimpänä asiakasta ja siellä otetaan tilaus vastaan ja määritetään tarve esittämällä kysymykset: mitä, milloin ja miten paljon. Kuvan

neljäs vaihe on kolmannen vaiheen sisäinen asiakas ja kolmas vaihe taas toisen vaiheen ja toinen ensimmäisen vaiheen sisäinen asiakas. Näin ollen tieto asiakkaan tilauksesta kulkee vastavirtaan koko tuotannon läpi ja joka tuotannonvaiheessa saadaan tieto siitä. (Modig & Åhlström 2016, 72-74.)

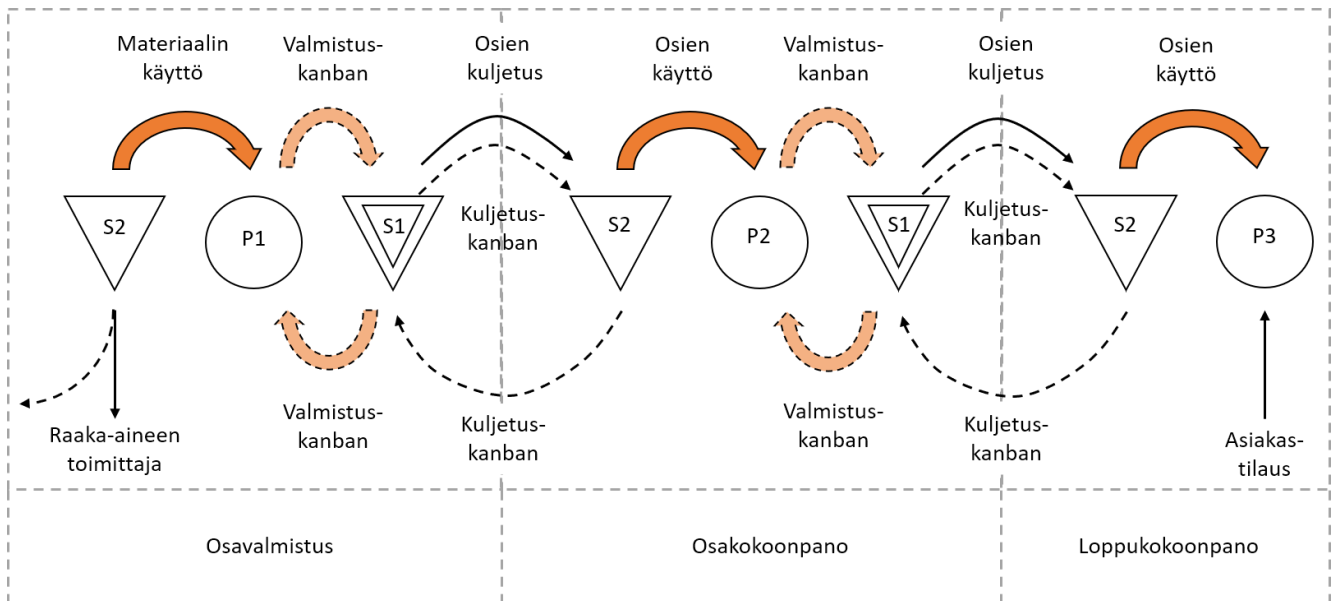
Tarkka määrittely ja viestintä eivät koske pelkästään ulkoista asiakasta, vaan joka tuotantoprosessin vaiheessa kysytään seuraavalta sisäiseltä asiakkaalta samat kysymykset: mitä, milloin ja miten paljon. Tämä tapa lisää tuotteen arvoa vaihe vaiheelta ja näin ollen materiaali ”imeytyy” tuotantoprosessin läpi raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi. Tämä vaikuttaa siihen, että tuotannon aikaisia välivarastoja ei pääse syntymään. Jokainen tuotantoprosessin eri vaiheissa tietää mitä pitää tehdä, milloin ja miten paljon. (Modig & Åhlström 2016, 74.)

4.3.2 Kanban

Kanban on menetelmä JIT-tuotannon saavuttamiseksi ja sitä käytetään imuohjauksen tukena. Kanban säätelee tuotantoketjua ja tätä kautta vaikuttaa tuotannonaikaisiin varastoihin. Kanbanissa käytetään kanban-kortteja, joita on pääasiassa kahdenlaisia: valmistuskanbaneja ja toimituskanbaneja. Valmistuskanban sisältää toimintaohjeet tuotteen valmistusta varten ja vastaavasti toimituskanban sisältää kuljetusohjeet tuotteen kuljetusta varten. Kortit kulkevat tuotteen mukana läpi tuotannon, aivan tuotannon alusta loppuun valmiiseen tuotteeseen ja sen kuljetukseen saakka. (Shingo 1984, 71.)

Kanban-kortteja käytetään yleensä toistuvassa tuotannossa ja tällöin kanban-kortteja voidaan käyttää useita kertoja. Kanban-korttien määrä kertoo suoraan varastojen ja puskurivarastojen koot. Valmistuksessa kanban-kortti kulkee koko ajan tuotteen mukana. Kortista nähdään mitä tuotteelle pitää seuraavaksi tehdä ja milloin. (Shingo 1984, 71.)

Osavalmistuksessa valmistuskanban kulkee tuotteen mukana valmistusvaiheen ajan, minkä jälkeen kortti palaa osavalmistuksen alkuun, jossa se toimii tuotantomääräyksenä seuraavalle prosessille. Sen jälkeen valmiiseen tuotteeseen kiinnitetään kuljetuskanban, joka kertoo, mihin tuotteen pitää seuraavaksi mennä (KUVA 14). Kanban-korttia voidaan käyttää myös kertavalmistuksessa, mutta tuotteen valmistuttua kortti on otettava pois tuotannon kierrosta. (Shingo 1984, 71-73.)



KUVA 14. Kanban-korttien kierto tuotannossa (mukaillen Shingo 1984, 73)

Kanban-korttia voidaan myös käyttää apuvälineenä jatkuvassa kehittämisessä. Kun tuotannossa syntyy häiriöitä, virheitä tai konerikkoja, kanban-kortin kierto pysähtyy. Näin ollen kanban-kortti antaa virheestä signaalin ja ongelma voidaan tutkia ja korjaustoimenpiteet voidaan aloittaa. (Shingo 1984, 75.)

4.3.3 5S menetelmä

5S on yksi leanin menetelmistä, joka mahdollistaa virtaustehokkaan tuotannon. Leanin lähtökohtana on, että tuottavaa ja laadukasta työtä voidaan tehdä vain siistissä ympäristössä. 5S tulee sanoista: Seiri (lajittelu), Seiton (järjestys), Seiso (siivous), Seiketsu (standardointi/vakiinnuttaminen) ja Shitsuke (seuranta). 5S menetelmän avulla huolehditaan siisteyden ja järjestyksen kehittämisestä ja ylläpidosta sekä sen avulla pyritään myös kehittämään systemaattisuutta ja kurinalaisuutta. (Kouri 2010, 26-27.)

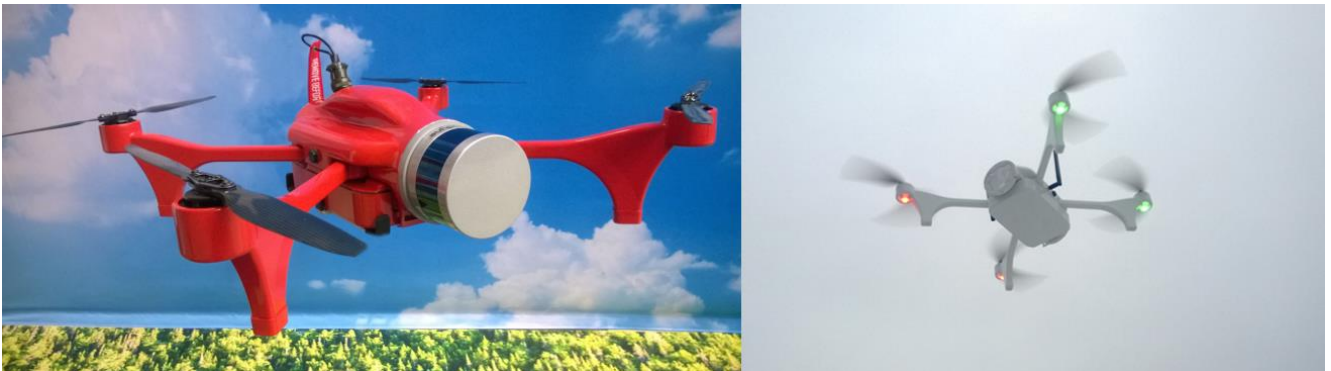
5S:n perustana on, että oikean asian on oltava oikealla paikalla, sillä siisteys auttaa havaitsemaan ongelmat ja poikkeamat tuotannossa. Tämä mahdollistaa hukkien tunnistamisen ja poistamisen, mikä taas parantaa virtaustehokkuutta. 5S:n avulla saadaan myös vähennettyä tuotannon vaihteluita, sillä tavaroiden ja työkalujen etsimiseen ei kulu aikaa, kun ne ovat oikealla paikalla. (Modig & Åhlström 2016, 144.)

5 TUOTANNON KEHITTÄMINEN

5.1 Nykytilan kartoitus

Tässä työssä nykytilan kartoittaminen oli varsin helppoa, koska yritys on uusi eikä sillä ole vielä varsinaista tuotantoa olemassa. Näin ollen tuotantoa lähdettiin suunnittelemaan aivan alusta ns. puhtaalta pöydältä. Aluksi pohdimme, minkälainen tuotannon pitäisi olla, jotta se etenisi johdonmukaisesti ja olisi samalla myös joustava sekä kykenisi aluksi valmistamaan noin 80-100 miehittämätöntä ilma-alusta vuodessa. Tämä tuotantomäärä perustuu yrityksen tekemiin arvioihin ja laskelmiin siitä, kuinka paljon kysisillä ilma-aluksilla tulisi olemaan kysyntää seuraavan muutaman vuoden aikana.

Ensimmäisen vuoden aikana, kun Korento C10 - ilma-alusjärjestelmä tuli markkinoille, yritys valmisti noin kymmenen ilma-alusta ilman minkäänlaista kunnollista tuotannonohjausta. Se osoitti sen, että yrityksen on pakko rakentaa oikeanlainen tuotanto ja tuotannonohjausjärjestelmä, jotta ilma-alusten valmistusta vaihe vaiheelta voidaan seurata, dokumentoida ja paikantaa mahdolliset epäkohdat ja korjata ne, ennen kuin ne pääsevät asiakkaalle. Kuvassa 15 on yrityksen valmis tuote, Korento C10 – ilma-alus.



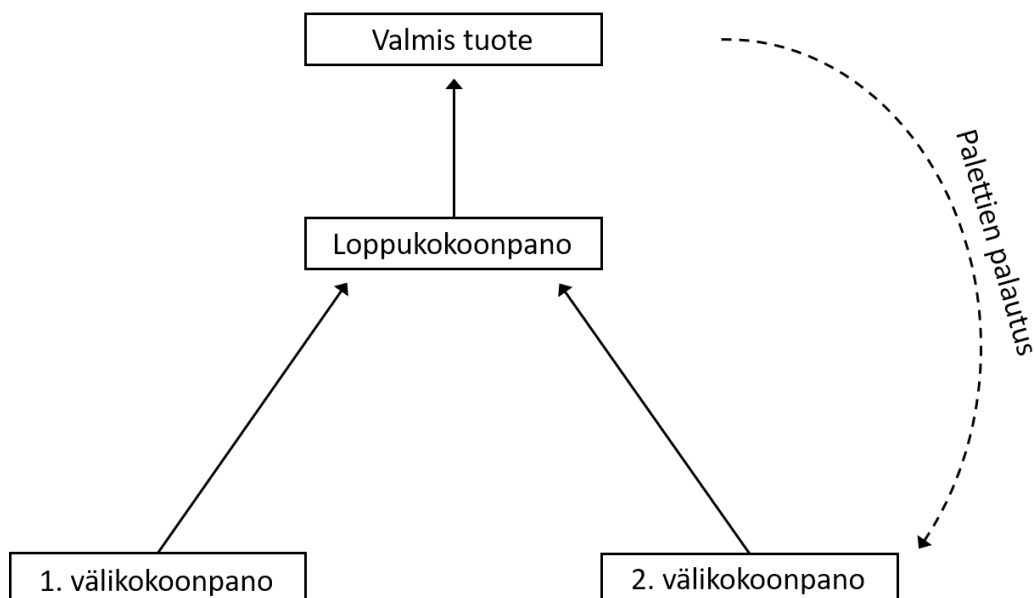
KUVA 15. Korento C10

Tuotantosuunnitelmaa mietittäessä päädyttiin ratkaisuun, että yritys tulee hyödyntämään tuotannossa leanin periaatteita ja menetelmiä ja muokkaamaan niitä tarpeen mukaan itselle sopiviksi. Tuotannon layoutissa päädyttiin solulayoutratkaisuun. Tuotannonohjausjärjestelmän yritys on itse kehittänyt ja tehnyt juuri omaan käyttöönsä soveltuvaksi.

Alustavana suunnitelmana tuotannossa päätettiin ottaa käyttöön JIT-tuotanto ja hyödyntää sen tukena kanban- ja 5S-menetelmiä. JIT-tuotannon pääperiaatteen mukaan ilma-alusten tuotanto alkaa vasta siten, kun asiakas on tehnyt tilauksen. Tämän jälkeen tieto siirtyy eteenpäin alihankkijoillemme, joilta tilaamme kaikki osat ilma-aluksiin, koska tuotantomme keskittyy pääasiassa vain ilma-aluksen loppukokoonpanoon valmiista osista.

5.2 Tuotanto ja materiaalivevirta

Kanban-menetelmä muokattiin yrityksen tuotantoon sopivaksi, jotta JIT-tuotantoa voitiin hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Ilma-alusten kokoonpano tapahtuu monessa eri vaiheessa ja tähän tarkoitukseen kehitettiin paletit, jotka toimivat tuotannon kanban-kortteina. Yksi paletti vastaa aina yhtä työvaihetta, ja jokaiselle paletille kasataan aluksi siihen työvaiheeseen tarvittavat osat. Paletteja on kolme erilaista eli kokoonpanovaiheita on myös kolme. Ensimmäisellä ja toisella paletilla tehdään välikokoonpanot ja kolmannella paletilla tehdään loppukokoonpano ensimmäisestä ja toisesta paletista. Kun paletti tyhjenee ja valmis tuote valmistuu tuotannon loppupäässä, paletit lähetetään takaisin tuotannon alkupäähän, jossa niihin kootaan jälleen uudet osat. Paletit kulkevat siis koko tuotannon läpi ja vasta kun valmis tuote on valmis, paletit palautetaan tuotannon alkupäähän. Näin saadaan signaali, milloin pitää aloittaa uuden tuotteen kokoonpano. Tuotantoon voidaan laittaa myös useita paletteja kerrallaan, mutta ei koskaan enempää kuin tilauskoko on. Kokoonpanojärjestys olisi kuvan 16 mukainen.



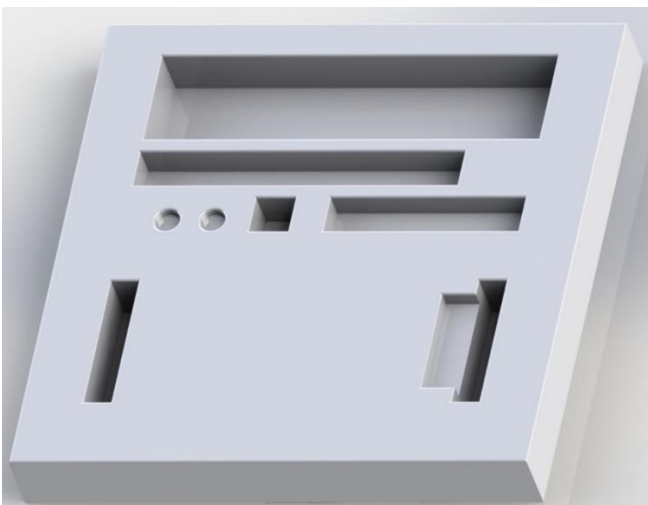
KUVA 16. Kokoonpanovaiheet

Ensimmäisellä paletilla hoidetaan ensimmäinen välikokoonpano, eli multikopterin varsien kasaaminen, joka sisältää moottorit, moottorinohjaimet, ledit ja tarvittavat johdotukset (KUVA 17). Kokoonpanon yhteydessä tehdään myös laadun tarkastus, jolloin varmistetaan tuotteen laatu ja toiminta sekä voidaan eliminoida mahdolliset virheet, ennen kuin ne pääsevät asiakkaalle asti.



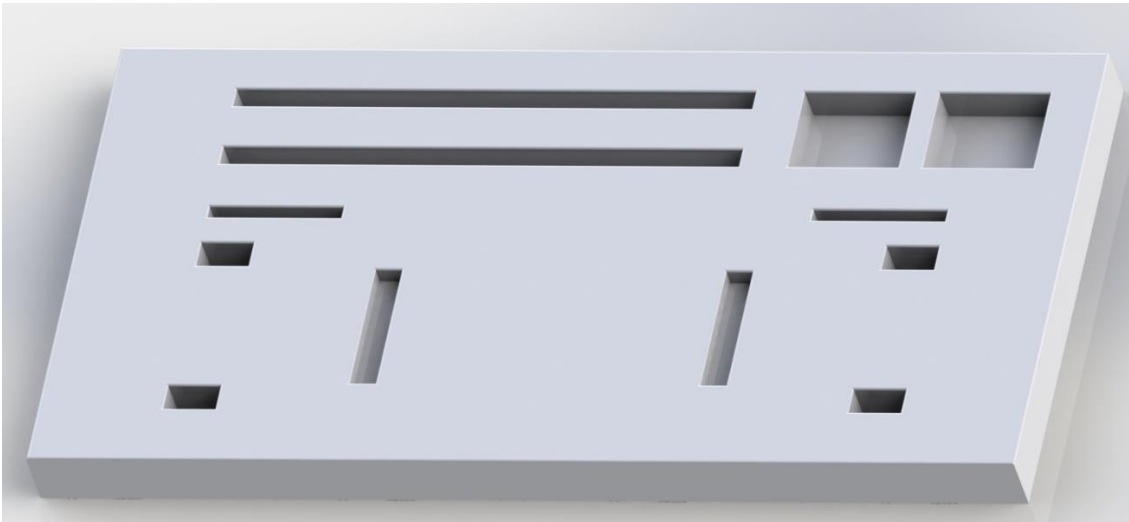
KUVA 17. Paletti 1

Toisella paletilla tehdään toinen välikokoonpano ja siihen kuuluu rungon kokoonpano (KUVA 18). Runko sisältää lentotietokoneen, tarvittavan elektroniikan ja sensorit, johdotukset ja virtaliittimet sekä rungon päihin tulevat Electro Mechanical Connection Interface (EMCI)-kuormaliitännät. EMCI on Pohjonen Groupin patentoima kuormaliitinnratkaisu, joka mahdollistaa nopean kuorman liittämisen ja irrottamisen sekä lähes rajattomat sovellutuskohteet IP-pohjaisen tiedonsiirron ansiosta.



KUVA 18. Paletti 2

Kolmannella paletilla eli loppukokoonpanossa liitetään valmisteltuun runkoon varret ja viimeistellään ilma-alus koelentoa varten sekä tehdään lopputarkastus (KUVA 19). Tämän jälkeen valmiiseen ilma-alukseen ajetaan tarvittavat ohjelmistot ja parametrit lentotietokoneeseen, ja sen jälkeen sille tehdään erilaisia testejä ja koelento. Koelennon jälkeen ilma-alus pakataan valmiiksi lähetettäväksi asiakkaalle.

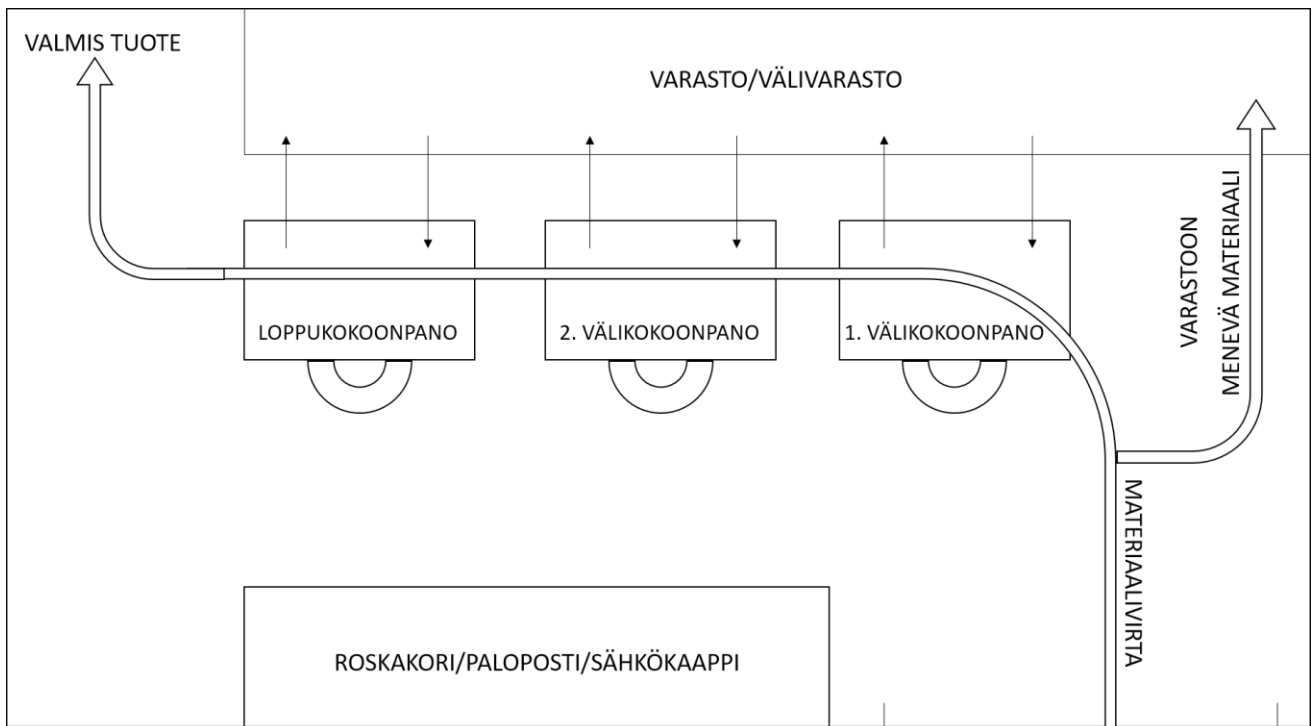


KUVA 19. Paletti 3

Samaan aikaan, kun ilma-aluksia kasataan, aloitetaan ilma-aluksien akkujen kokoonpano. Akuille ei ole suunniteltu erikseen omaa palettia, sillä niiden kokoonpano on hyvin yksinkertaista ja suoraviivaista ja siten se on helposti hallittavissa oleva prosessi. Akun kuori koostuu kahdesta hiilikuitukuoresta, joiden sisälle asennetaan akkukennot ja kuoren ulkopuolelle asennetaan akun virtaliitin. Kun kennot ovat asennettu ja liitin juotettu akkukennoihin ja asennettu paikoilleen, akun kuoret asetellaan yhteen ja liimataan kiinni ja tiivistetään niin, että se on täysin vesitiivis.

5.3 Tuotannon layout

Lähtökohtana layoutin suunnittelussa yrityksellä oli, että materiaalivirta olisi mahdollisimman sujuvaa ja yksinkertaista ja että välivarastojen syntyminen olisi mahdollisimman vähäistä. Päädyimme solulayouttyyppiseen ratkaisuun (KUVA 20). Koska kyseessä on kokoonpano, solut ovat hyvin joustavia eri tuotteiden valmistamiseen/kokoonpanoon. Tämä johtuu siitä, että niissä ei ole erityiskoneita, joiden asetuksia pitäisi vaihtaa. Käytännössä jokainen työpiste on samanlainen.



KUVA 20. Tuotannon layout

Kuvan 20 mukaisesti tilattu tavara, jota ei tarvita välittömästi työpisteillä, menee suoraan varastoon. Työpisteet on sijoitettu niin, että tarvittava materiaali on helposti saatavilla varastosta eri kokoonpanon vaiheissa. Tällainen solutyypinen kokoonpanolinja on siitä hyvä, että sitä voidaan monistaa sellaiseen, jolloin saadaan kasvatettua tuotantokapasiteettia tarpeen mukaan.

5.4 Varasto

Varasto on sijoitettu työpisteiden etupuolelle, jotta sieltä on helppo ottaa tarvittavia komponentteja kokoonpanoa varten. Kaikki kokoonpanossa tarvittavat komponentit on sijoitettu järjestykseen varastoon, josta ne otetaan ja kasataan paletille. Varastoa voidaan käyttää myös välivarastona valmiille tuotteille (paletti 3) ennen konfigurointia ja koelentoa. Käytössämme on myös yrityksen itsevalmistama varastohallintajärjestelmä, jonne kirjataan kaikki saapuvat komponentit ja materiaalit. Sieltä näkee myös varastosaldon ja siitä tietää milloin pitää tilata uutta tavaraa.

5.5 Siisteys ja järjestys

Tuotannossa sovelletaan 5S-menetelmää, joka mahdollistaa JIT-tuotannon yhdessä kanban-menetelmän kanssa. 5S-järjestelmä takaa myös sujuvan ja tehokkaan tuotannon, kun työkaluilla on oma paikka ja niitä ei tarvitse etsiä. Joka työpisteellä on samat työkalut, joilla voidaan hoitaa ilma-aluksen jokainen työvaihe. Työkaluilla on myös oma paikkansa työpisteellä, jotta ne löytyvät tarpeen tullen helposti.

Siisteys ja järjestys ovat erittäin tärkeitä tuotannon tehokkuuden kannalta. Kun tavarat ja työkalut ovat järjestyksessä omalla paikallaan ja työpisteet ovat siistit, tavaroiden ja työkalujen etsimiseen ei kulu ylimääräistä aikaa ja siisteys edistää työntekijöiden työmoraalia sekä helpottaa työntekoa. Tätä kautta tuotannon tehokkuus ja virtaus sekä tuotteiden laatu kasvavat, kuten Kouri (2010, 26-27) kirjassaan kertoo.

6 YHTEENVETO JA OMA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada toimiva, sujuva, joustava ja virtaustehokas tuotanto miehittämättömien ilma-aluksien tuottamista varten. Tähän tavoitteeseen ei olla vielä päästy, sillä tässä työssä laadittua suunnitelmaa ei ole vielä kokonaisuudessaan toteutettu. Tällaisen tuotannon rakentaminen ja toteuttaminen vievät aikaa, mikä on ymmärrettävää ja näin ollen itse voin todeta, että olen päässyt tavoitteeseeni ainakin suunnitelman osalta. Tällä hetkellä yrityksellä on tuotannon osalta olemassa tarvittavat tukijärjestelmät, kuten tuotannonohjaus- ja varastohallintajärjestelmät. Tuotannon toimivuuden kannalta nämä järjestelmät ovat elinehto ja tästä on hyvä jatkaa tuotannon rakentamista eteenpäin.

Tuotannon suunnittelussa käytin lean-tuotantostrategian periaatteita ja menetelmiä ja muokkasin niitä miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän tuotantoon sopivaksi. Mielestäni onnistuin tässä hyvin. Olin myös kehittämässä yrityksen omaa tuotannonohjaus- ja varastohallintajärjestelmää, jotka onnistuivat odotusten mukaisesti. Hyvä puoli niissä on, että niitä voidaan itse muokata tarpeen mukaan. Mielestäni sain opinnäytetyön aikana myös erittäin hyvän kokonaiskuvan siitä, mitä tuotannonohjaus on ja miten lean-tuotantostrategiaa voidaan hyödyntää tuotannossa.

Uskon, että jossain vaiheessa tätä suunnitelmaa tullaan käyttämään tuotannon rakentamisessa, jos ei kokonaisuudessaan, niin ainakin osittain. Tästä työstä tulee varmasti olemaan hyötyä yritykselle tulevaisuudessa ja Pohjonen Group olikin varsin tyytyväinen tehtyyn työhön ja tuloksiin.

LÄHTEET

- Haverila, M – J. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. Viides painos. Tampere: Infacts Oy.
- Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- Krafcik, J. 1988. Lean-tuotantojärjestelmän riemuvoitto. 30. painos. Cambridge: Sloan Management Review.
- Kumpula, M. 2013. UAV-lennokin hyödynnettävyys ilmakuvakartan teossa. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59910/Kumpula_Mikko.pdf Viitattu: 30.11.2017.
- Lentoposti, 2016. Maavoimien uusi Orbiter MUAS-lennokki: valvontaa, tulenjohtoa ja viranomaisten avustamista. Julkaistu 8.9.2016. Saatavissa: http://www.lentoposti.fi/uutiset/maavoimien_uusi_orbiter_muas_lennokki_valvontaa_tulenjohtoa_ja_viranomaisten_avustamista_video Viitattu: 30.11.2017.
- Modig, N. & Åhlström, P. 2016. Tätä on lean – ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Kuudes painos. Tukholma: Rheologica Publishing.
- Shingo, S. 1984. Japanilainen tuotantoajattelu. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Trafi, 2016. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen. Julkaistu: 23.12.2016. Saatavissa: https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf Viitattu: 30.11.2017.
- VTT, 2017. Lentävät robotit tulevat kaukokartoitukseen. Julkaistu 4.5.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/lent%C3%A4v%C3%A4t-robotit-tulevat-kaukokartoitukseen> Viitattu: 31.10.2017.